



Acquisition d'un outil de specification (GRAFCET) pour decire un procede automatise

A. Morais

► To cite this version:

A. Morais. Acquisition d'un outil de specification (GRAFCET) pour decire un procede automatise.
RR-0631, INRIA. 1987. inria-00075922

HAL Id: inria-00075922

<https://inria.hal.science/inria-00075922>

Submitted on 24 May 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



UNITÉ DE RECHERCHE
IRIA-ROCOUENCOURT

Institut National
de Recherche
en Informatique
et Automatique

Domaine de Voluceau
Rocquencourt
BP 105
78153 Le Chesnay Cedex
France
Tél. (1) 39 63 55 11

Rapports de Recherche

N° 631

ACQUISITION D'UN OUTIL
DE SPÉCIFICATION
(GRAFCET)
POUR DÉCRIRE
UN PROCÉDÉ AUTOMATISÉ

Alexandre MORAIS

Mars 1987

RESUME

Dans le processus de conception de procédés automatiques commandés par automates industriels, nous nous sommes intéressés à l'étape de spécification du fonctionnement du procédé pour le programmeur.

L'intérêt de cette étude réside dans l'observation d'un opérateur acquérant par l'action un nouvel outil de description du procédé.

Pour ce faire nous avons analysé l'évolution de la stratégie de production de chaque élément de la description ainsi que la planification de l'activité du concepteur de ces documents.

Ces analyses nous permettent de caractériser la démarche de l'opérateur et de mettre en évidence les mécanismes mis en œuvre dans cette acquisition.

MOTS CLEFS: planification, apprentissage, représentation, évolution de la stratégie, stratégie de conception, analogie, spécifications.

ABSTRACT

Studying the activity of design of automated processes controlled by programmable controllers, we were interested in the specification of the process for the programmer.

The interest of this study lies in the observation of an operator acquiring by doing a new tool for describing the functioning of the process.

We analyse the evolution of the design of each element of the description and the planification of the operator's activity.

These analysis allows us to characterize the way the operator works and to highlight some mechanisms used in this acquisition.

KEY WORDS: Planification, learning, representation, evolution of the strategy, design strategy, analogy, specifications.

AVANT-PROPOS

L'étude décrite dans le présent rapport a été menée dans le cadre d'un contrat avec la société APRIL. Grâce à l'accord et l'intérêt de la société ACMA nous avons eu un terrain d'observation au sein de cette entreprise.

Nous tenons à remercier toutes les personnes du Bureau d'études d'ACMA, qui nous ont réservé un accueil des plus favorables et ont permis la conduite de cette observation à terme. Nous remercions M. Jousselin sans la disponibilité duquel cette étude n'aurait pas été possible, M. Machain pour ses enseignements sur le grafcet et son utilisation.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
I - PRESENTATION DU TERRAIN.....	3
1. La tâche.....	3
2. Le procédé à décrire.....	3
3. Les sources d'informations utilisées pour produire les grafjets.....	6
3.1 Le schéma d'animation.....	7
3.2 Le schéma de séquences.....	7
3.3 Le grafjet.....	11
4. La méthode d'observation.....	14
II - RESULTATS.....	15
1. L'activité de planification du concepteur.....	15
1.1 Plan de la description du procédé.....	15
1.2 Ordre de production des différents grafjets.....	17
1.3 Evolution de la stratégie de construction d'un grafjet.....	18
2. Evolution des versions brouillons successives d'un grafjet.....	24
3. Analogies employées par le concepteur.....	29
3.1 Analogie de structure.....	29
3.2 Analogie de contenu.....	30
4 Du schéma de séquences au grafjet: changements de représentation.....	32
III - CONCLUSION.....	36
IV - BIBLIOGRAPHIE.....	37
ANNEXES.....	38
Annexe 1: Informations utilisées.....	39
Annexe 2: Grafjet de l'unité de contrôle.....	42
Annexe 3: La combinaison d'étapes simultanées après une boucle conditionnelle sur le grafjet de changement- déchargement.....	43
Annexe 4: Différences entre le grafjet et le schéma de séquences.....	44

INTRODUCTION

La présente étude s'insère dans l'ensemble des recherches que nous menons sur l'activité de conception de procédés automatisés commandés par automates industriels.

La phase étudiée ici est celle où un mécanicien traduit les spécifications du procédé sous la forme de documents spécialement destinés au programmeur pour sa tâche de programmation de l'automate.

Dans l'entreprise considérée, l'habitude pour le mécanicien était de réaliser deux documents pour le programmeur:

- 1 - Un schéma d'animation,
- 2 - Puis un schéma de séquences.

Cependant, pour l'opération que nous avons observée le mécanicien venait de recevoir de nouvelles consignes de sa direction: il s'agissait d'essayer une nouvelle forme de représentation: celle du grafcet au lieu de la forme "schéma de séquences".

De ce fait la tâche du mécanicien consistait à produire:

- 1 - Un schéma d'animation,
- 2 - Un ensemble de grafkets.

Or le mécanicien observé avait une grande expérience de la méthode classique, mais ne connaissait pas le grafcet. Ceci étant il a décidé, pour cette première expérience, de ne pas se lancer d'emblée dans la construction de schémas grafcet mais de passer d'abord, comme il en avait l'habitude, par le schéma de séquences.

Il a donc construit:

- 1 - Un schéma d'animation;
- 2 - Un schéma de séquences (pour l'analyse de cette étape cf. Visser, 1986),
- 3 - Une traduction en grafcet du schéma de séquences.

C'est donc une situation particulière (quasi-expérimentale) que nous avons observée, dont les caractéristiques inhabituelles doivent être gardées en mémoire pour interpréter les observations:

- le mécanicien observé est très expérimenté en automatisation et en représentation classique "schémas de séquences";
- il est novice en grafcet;
- le fait qu'il ait décidé de produire les deux nous a permis à la fois de mieux observer les difficultés que lui posait le grafcet et de faire des comparaisons intéressantes entre les deux formes de représentations.

I - PRESENTATION DU TERRAIN

1. La tâche

Dans l'ensemble du processus de conception du procédé automatique, la tâche du mécanicien est double:

- 1 - il participe à l'étude mécanique du procédé,
- 2 - il élabore les documents décrivant le fonctionnement du procédé et qui sont destinés au programmeur pour son travail de programmation de l'automate.

C'est cette seconde partie de sa tâche qui fait l'objet de la présente étude, et plus particulièrement son activité de conception des schémas grafcet. Il est à remarquer que lorsqu'il l'aborde, il a déjà une très bonne connaissance du projet du fait de sa participation préalable à l'étude mécanique.

2. Le procédé à décrire

Il s'agit d'usinage de pièces. On distingue deux parties sur ces pièces: la tête et le pied sur lesquels des trous doivent être percés. Sur le pied, une bague doit être posée.

La figure 1 décrit la disposition des différentes unités fonctionnelles sur le procédé.

Il est possible de distinguer cinq unités fonctionnelles différentes:

- Le plateau P a pour rôle de présenter les pièces de poste en poste (depuis les postes d'usinages à celui de contrôle).
- Une station d'usinage à deux postes:
 - l'un est chargé de la finition de l'usinage (appelé "usinage deuxième phase");
 - l'autre concerne l'ébauche de l'usinage des pièces (appelé aussi "usinage première phase").

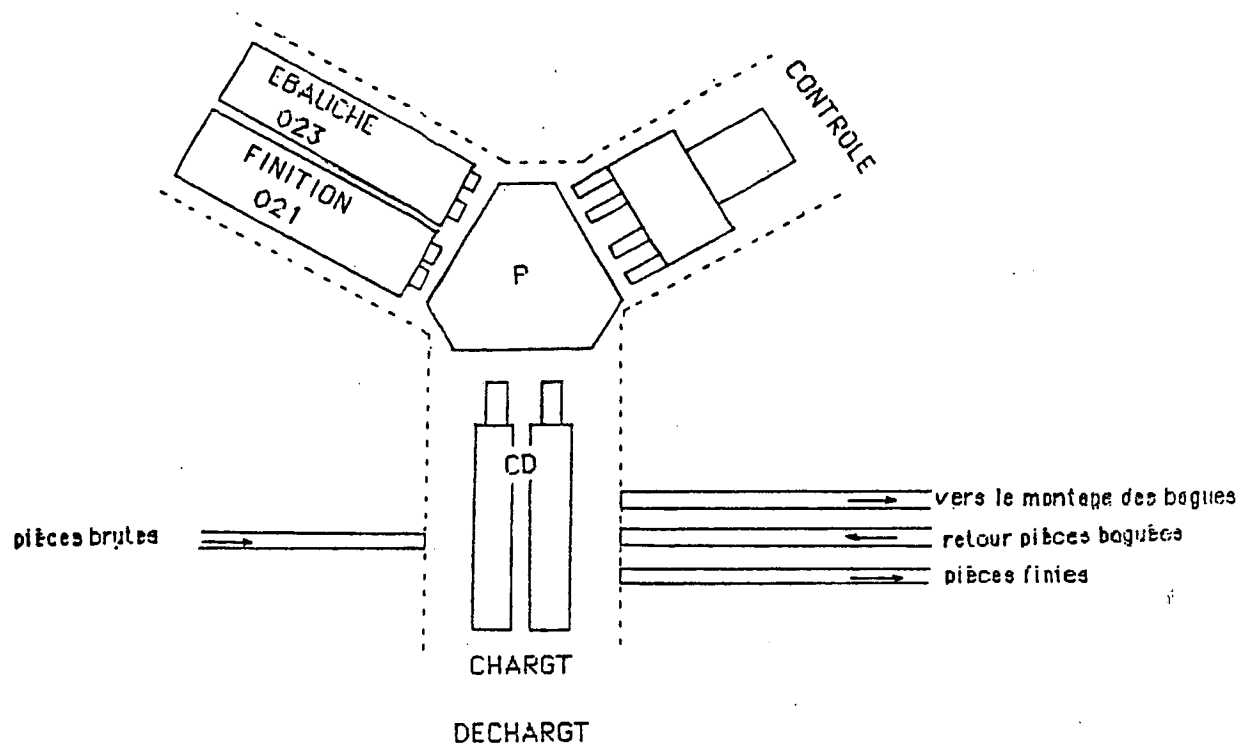


Figure 1. Présentation du procédé étudié par l'opérateur

- Un poste de contrôle des pièces pour évaluer si elles respectent les côtes définies.
- Un poste C-D de chargement-déchargement alimente et évacue les pièces du plateau P.

Un cycle de production se déroule de la manière suivante:

- D'abord l'évolution plateau permet de positionner des pièces sur les différents postes et de récupérer celles qui s'y trouvent.
- Puis simultanément se font:
 - . le chargement-déchargement du plateau,
 - . les usinages de pièces,
 - . et leur contrôle.

Le chargement-déchargement se fait en deux temps.

- D'abord le chargement et le déchargement des pièces au niveau du poste C-D qui se fait par deux rotations.
 La première permet le déchargement des pièces ébauchées (pour leur baguage) et le déchargement des pièces finies, suivi par le chargement de pièces ébauchées-baguées.
 La seconde rotation sert au chargement de nouvelles pièces (pièces brutes).
- Puis il y a chargement et déchargement du plateau P.
 Pour ce faire le poste C-D avance vers le plateau, il y a chargement d'une nouvelle pièce et d'une pièce ébauchée-baguée.
 Puis a lieu le déchargement des pièces ébauchées non baguées et des pièces finies, ces deux types de pièces ayant subi le contrôle.

Pendant que le chargement-déchargement s'effectue, les trois autres postes fonctionnent (c'est-à-dire les usinages ébauche et finition et le contrôle des pièces).

Le circuit de deux pièces sur le procédé est le suivant:

Les pièces arrivent sur le plateau pivotant (P), celui-ci fait une rotation de 120° après chaque cycle. Les pièces vont être positionnées sur les postes d'usinage selon leur état. La nouvelle pièce sera sur le poste usinage ébauche, celle qui est baguée sur l'usinage finition. Les deux pièces précédentes sur les postes d'usinage vont se trouver sur le poste de contrôle par la rotation du plateau, alors que celles qui se trouvaient sur le poste de contrôle vont être sur le

poste de chargement-déchargement. Ainsi les pièces font un tour dans le sens des aiguilles d'une montre.

Le cycle de production que nous venons de décrire est celui qui a lieu lorsque le procédé est lancé c'est-à-dire lorsque des pièces sont présentes à tous les postes du procédé.

Pour le cycle de vidage il s'agit de ne pas ravitailler le procédé en nouvelles pièces.

Pour le cycle de remplissage c'est exactement l'inverse puisque sur certains postes, des pièces sont absentes.

Les différences entre ces trois cycles se traduisent par deux types de cycles pour l'unité de chargement-déchargement:

- soit il y a chargement de pièces nouvelles et baguées pour les cycles de remplissage et de fonctionnement à plein "régime";
- soit il y a uniquement déchargement des pièces pour le cycle de vidage.

3. Les sources d'informations utilisées pour produire les grafjets

Pendant la construction du grafjet, le concepteur avait la possibilité de consulter les principales sources d'information suivantes:

- le schéma d'animation qu'il avait déjà réalisé;
- le schéma de séquences: rappelons que ce document n'est pas normalement produit si l'on utilise le grafjet. Cependant le mécanicien observé, habitué à ce type de schéma, a d'abord décrit le procédé sous cette forme avant de se mettre au grafjet;
- des grafjets modèles;
- et l'expert: nous appellerons ainsi un de ses collègues qui connaît bien le grafjet et qui était à sa disposition en cas de difficultés (rappelons que le mécanicien était novice en grafjet).

Les résultats quantitatifs quant au nombre de sources et de prises d'informations utilisées par le concepteur sont présentés en annexe (cf. annexe 1).

Description des différents types de schémas: (cette description peut être sautée par le lecteur connaissant l'automatisation de procédés par automates industriels).

3.1 Le schéma d'animation

Il décrit la façon dont le procédé fonctionne. La figure 2 présente à titre d'exemple le schéma d'animation de "l'usinage ébauche".

On peut caractériser le schéma d'animation par les points suivants:

- il permet la description matérielle des différentes unités du procédé et les relations physiques entre les organes qui composent chacune de ces unités;
- on trouve sur ce schéma:
 - * les organes qui permettent les différentes opérations (broches par exemple),
 - * ceux qui fournissent l'énergie (moteurs),
 - * le type d'énergie utilisée (électrique, hydraulique),
 - * les organes qui vérifient si une opération est exécutée ou non (capteurs);
- à partir des organes décrits sur ce schéma pour une unité fonctionnelle et des liaisons physiques qui les relient entre eux, il est possible de simuler mentalement le fonctionnement de cette unité.

3.2 Le schéma de séquences

Le schéma de séquences répond à la question: quelles opérations sont exécutées sur le procédé, dans quel ordre, pour quelle durée?

La figure 3 présente le schéma de séquences correspondant à la même unité que le schéma d'animation présenté ci-dessus.

Il peut être caractérisé de la manière suivante:

- il y a partition du procédé en "macro-fonctions" qui correspondent aux unités fonctionnelles du procédé c'est-à-dire aux différents postes de travail; celle qui est décrite sur l'exemple présenté concerne l'usinage ébauche;
- pour chaque macro-fonction décrite sur le schéma de séquences on parle de cycle; ainsi pour notre exemple on parlera de cycle d'usinage ébauche.

Le "cycle" est la séquence temporelle des opérations. Nous distinguerons:

- le cycle général (qui coordonne les cycles des différentes macro-fonctions d'un procédé);
- les cycles d'unités (qui décrivent le fonctionnement de chaque macro-fonction).
- la description du fonctionnement d'une macro fonction sur le schéma de séquences est une matrice sur laquelle on lit sur les lignes les différentes opérations et sur les colonnes la division du temps total du cycle en centièmes de minute. Chaque colonne représente cinq centièmes. Le temps d'exécution d'une opération est représenté par un trait au niveau de l'intersection entre la ligne sur laquelle se trouve le nom de l'opération et les colonnes franchies par le trait.
- sur la droite du schéma proprement dit, un certain nombre de colonnes permettent de spécifier les conditions associées à chaque opération (sécurité, ordre de départ en automatique, fin de mouvement, la puissance d'énergie nécessaire à l'opération, les particularités d'une opération (par exemple le cas où selon le type de conditions rencontrées l'opération est exécutée ou non, si l'opération peut être conduite en mode manuel ou non)).
- sur une cartouche, figurent des informations générales notamment le nom de l'unité et sa situation sur le procédé.

Figure 3. Schéma de séquences pour l'usinage ébauche

CLASSEMENT UTILISATEUR			STATION <u>02</u>		UNITE <u>TAEH 34</u>		CYCLE		COFFRET		UNITE		SYNOPTIQUE	
			POSTE <u>023</u>						boulons poussoirs		commutateurs		voyants	
			USINAGE <u>Aksage et</u> <u>chanfreinage (1-phase)</u>											
N	Opération	Symbole	Temps 1/100 de minute			Sécurité	Ordre départ en Auto	Manuel	Fin de mouve.	Action.	Observation			
			0	13	100									
	Avance rapide	3												
	Avance outil pied	3												
	Avance lente N°1 (AL)	51												
	Avance lente N°2 (AN)	71												
	Retour lent	85												
	Avance butée table	15												
	Avance lente N°3	2												
	Avance outil (CHAR)	2												
	Chariotage (CHAR)	12												
	Retour rapide	4												
	Récul outil pied	13												
	Retour butée table	15												
	Compensation O.P	7												
	Excitation freins													
	Rotation broches													
	Abrassage													
	Polyrotation													
MANUEL			ACTIONNEURS											
1. mouvement coup par coup 2. mouvement pas à pas. 3. mouvement inverse autorisé 4. mouvement autorisé en S.A.R.			Modif _____ _____ _____											

3.3 Le grafcet

C'est une alternative du schéma de séquences pour la description du fonctionnement du procédé.

Nous distinguerons deux aspects quant aux caractéristiques du grafcet: sa structure et son contenu.

Structure du grafcet

Les caractéristiques de sa structure apparaissent sur la figure 4:

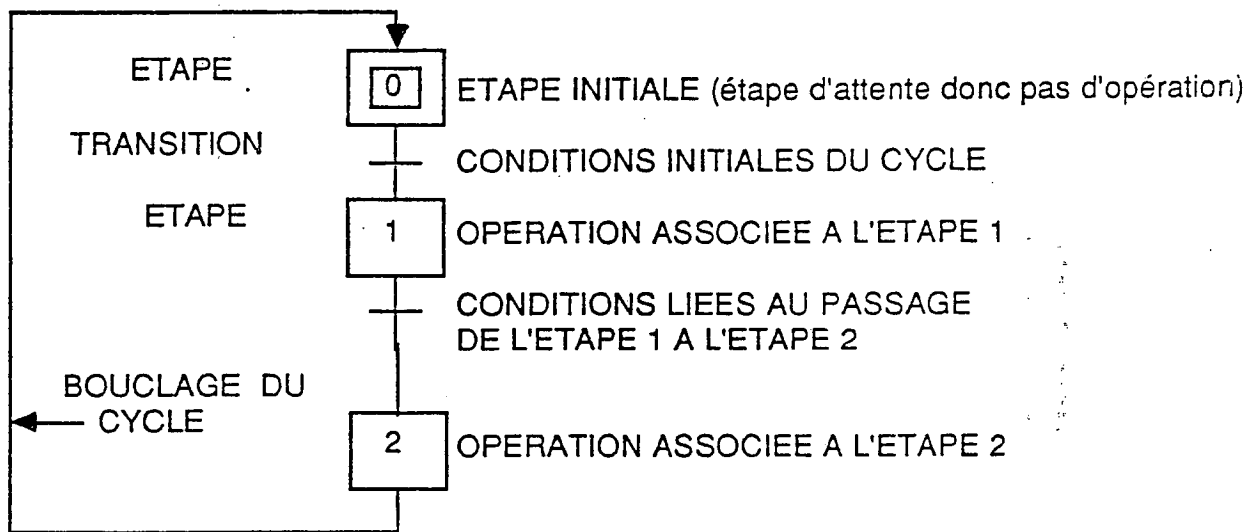


Figure 4. Structure du grafcet

- le grafcet est une suite alternée d'étapes et de transitions décrivant le cycle de fonctionnement d'une unité;
- à chaque étape est associée une ou plusieurs opérations;
- à chaque transition sont associées les conditions d'évolution d'une étape à la suivante;
- les liaisons entre étapes et transitions sont orientées (implicitement du haut vers le bas), et le franchissement d'une transition est irréversible, on ne peut en effet remonter dans un grafcet.

- une liaison, appelée bouclage, définit le saut de la dernière transition du cycle à l'étape initiale de celui-ci, seule étape à n'être jamais associée à une opération.

On peut distinguer trois types de grafjets:

- le grafjet général c'est celui qui coordonne les grafjets décrivant le fonctionnement des différentes macro-fonctions du procédé. Une macro-fonction peut correspondre à une unité fonctionnelle (ex.: l'usinage ébauche) ou non (ex.: le vidage);
- les grafjets principaux qui décrivent chaque macro-fonction;
- les sous-grafjets:
 - * lorsqu' une des fonctions¹ remplies par une unité ne peut être décrite sur le grafjet principal soit pour des raisons de clarté, soit à cause de la "syntaxe grafjet", il est fait appel à un grafjet dérivé. Son intervention est mentionnée sur le grafjet principal de l'unité parce qu'elle intervient pendant la phase de travail de l'unité;
 - * lorsque des opérations d'une unité sont exécutées en dehors de la phase de travail de celle-ci, il y a création d'un grafjet dépendant. Son intervention est mentionnée au niveau du grafjet général.

Le grafjet général appelle des grafjets principaux qui le détaillent; les grafjets principaux peuvent eux-mêmes appeler des grafjets dérivés qui les détaillent.

Contenu d'un grafjet

Pour présenter les caractéristiques du contenu d'un grafjet, nous prendrons l'exemple de la description grafjet de "l'usinage ébauche" (figure 5).

¹ Nous distinguons les fonctions des opérations. Les premières concernent un ensemble d'opérations. Une fonction peut être divisée en éléments: les opérations. Une opération ne peut être divisée.

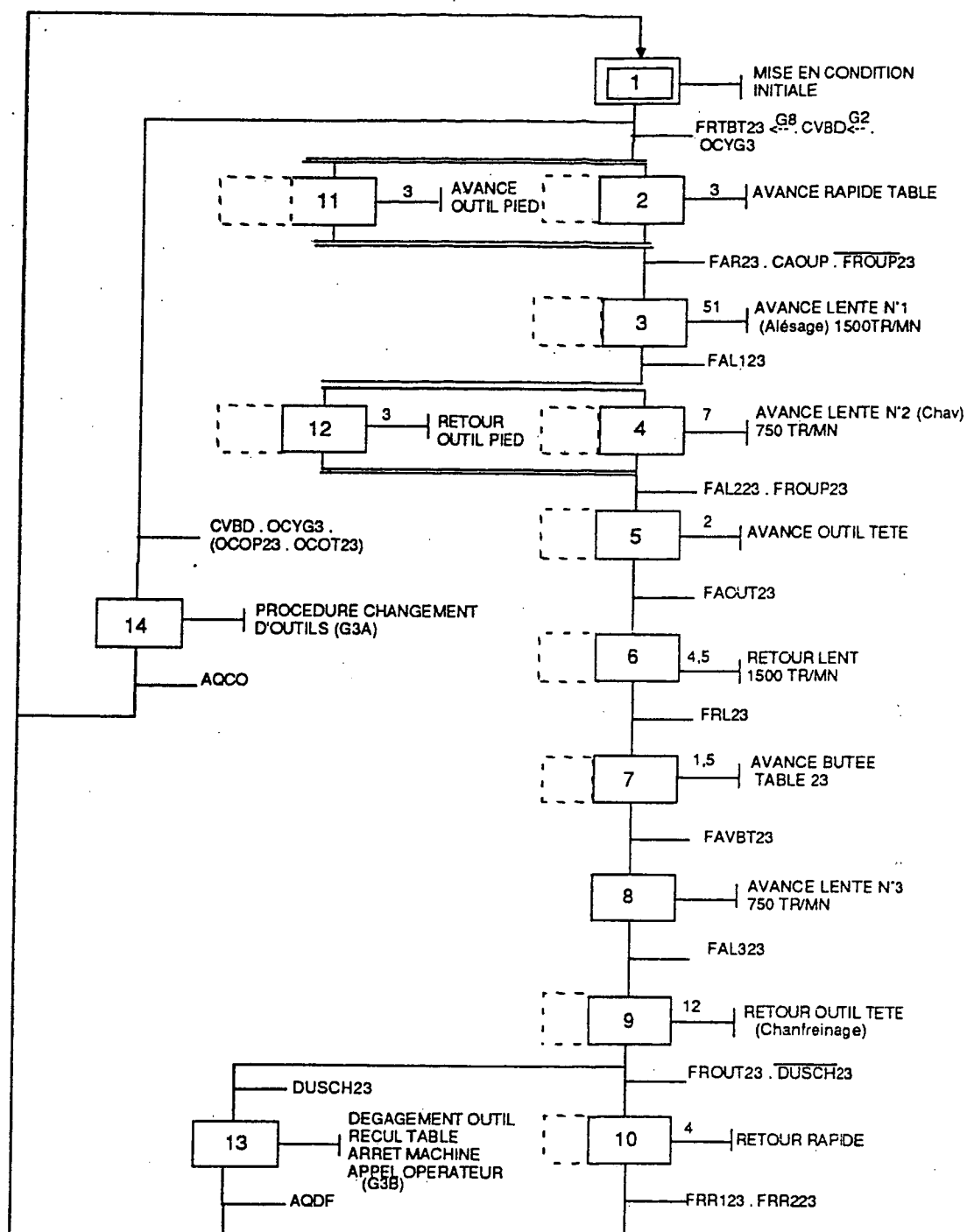


Figure 5. Grafcet décrivant l'usinage ébauche

Un schéma grafcet comprend les éléments d'informations suivants:

- Sur la transition qui suit l'étape initiale, se trouvent les conditions initiales qui gouvernent le fonctionnement de la totalité de l'unité décrite.
On peut distinguer deux groupes de conditions initiales:
 - les conditions de sécurité générale, elles concernent le procédé dans son ensemble et doivent être remplies pendant tout le fonctionnement du procédé;
 - les conditions de sécurité de l'unité décrite, elles doivent être remplies pendant le fonctionnement de celle-ci.
- Sur les autres transitions du grafcet sont prises en compte les conditions liées aux différentes opérations. On peut distinguer trois types de conditions:
 - les conditions de départ qui autorisent l'exécution de l'opération et qui apparaissent sur la transition précédant l'étape à laquelle est associée l'opération;
 - les conditions de sécurité liées à l'opération: elles permettent de s'assurer que l'opération sera exécutée sans risque (humain ou mécanique), elles sont associées à la transition qui précède l'étape sur laquelle apparaît l'opération;
 - les conditions de fin qui arrêtent l'exécution de l'opération et qui sont associées à la transition qui suit l'étape sur laquelle l'opération est lancée.
- Entre chaque étape et l'opération qui leur est associée, est indiqué le temps d'exécution alloué à cette dernière.
- Des formulaires sont utilisés pour construire chaque grafcet. Sur ceux-ci une partie "informations générales" apparaît sous la forme d'un cartouche. Elles concernent le nom de l'unité, sa situation topologique sur le procédé, le numéro du procédé et le numéro "administratif" pour l'entreprise.

4. La méthode d'observation

La méthode a consisté à observer le concepteur pendant son activité de construction des différents grafjets

Trois types de données ont été recueillis:

- des notes sur l'activité du concepteur;
- les traces produites (différents brouillons et versions finales);
- et, après l'analyse de celles-ci, un entretien avec le concepteur afin de vérifier et préciser certains points.

Il ne nous a pas été possible d'observer le concepteur en permanence pendant la construction de la description grafjet.

Au total nous avons observé directement la production de neufs des dix-neuf grafjets. Pour les autres, nous disposons du produit final (et des brouillons). Cependant ceux dont la construction n'a pu être observée directement sont surtout des grafjets qui n'étaient pas complètement nouveaux pour le concepteur: leur production intervenait après celle de grafjets de structure et/ou de fonctions similaires, comme nous le verrons plus loin.

II - RESULTATS

1. L'activité de planification du concepteur

1.1 Plan de la description du procédé

L'ensemble de la description du procédé a été réalisé grâce à 19 schémas grafcet différents.

On peut considérer ces schémas comme différents sous-buts que le concepteur a distingués pour représenter le procédé. Ces sous-buts peuvent être hiérarchisés en trois niveaux, selon une relation de "condition"; c'est-à-dire que chaque niveau comporte les descriptions d'opérations prérequisées pour celles du niveau supérieur.

Cette structure de but est représentée ci-dessous sur la partie gauche du tableau 1. On peut distinguer 3 niveaux de grafkets:

- Le premier niveau est celui du but général du procédé. Le grafket général qui y correspond décrit la coordination entre les macro-fonctions du procédé.
- Le deuxième niveau est celui des grafkets principaux des sept macro fonctions du procédé: on peut distinguer parmi elles deux ensembles:
 - un ensemble des fonctions "buts"(indiquées par "-"); ce sont les trois premières, celles qui réalisent, à proprement parler, la tâche (usinage de pièces dans des côtes définies),
 - un ensemble des fonctions prérequisées (indiquées par "***"); ce sont les quatre dernières, celles qui sont nécessaires pour que les fonctions buts soient assurées.
- Le troisième niveau est celui des grafkets qui décrivent des prérequis de certaines macro fonctions (indiqué par "***"), ou des sous-fonctions (indiqué par "-").

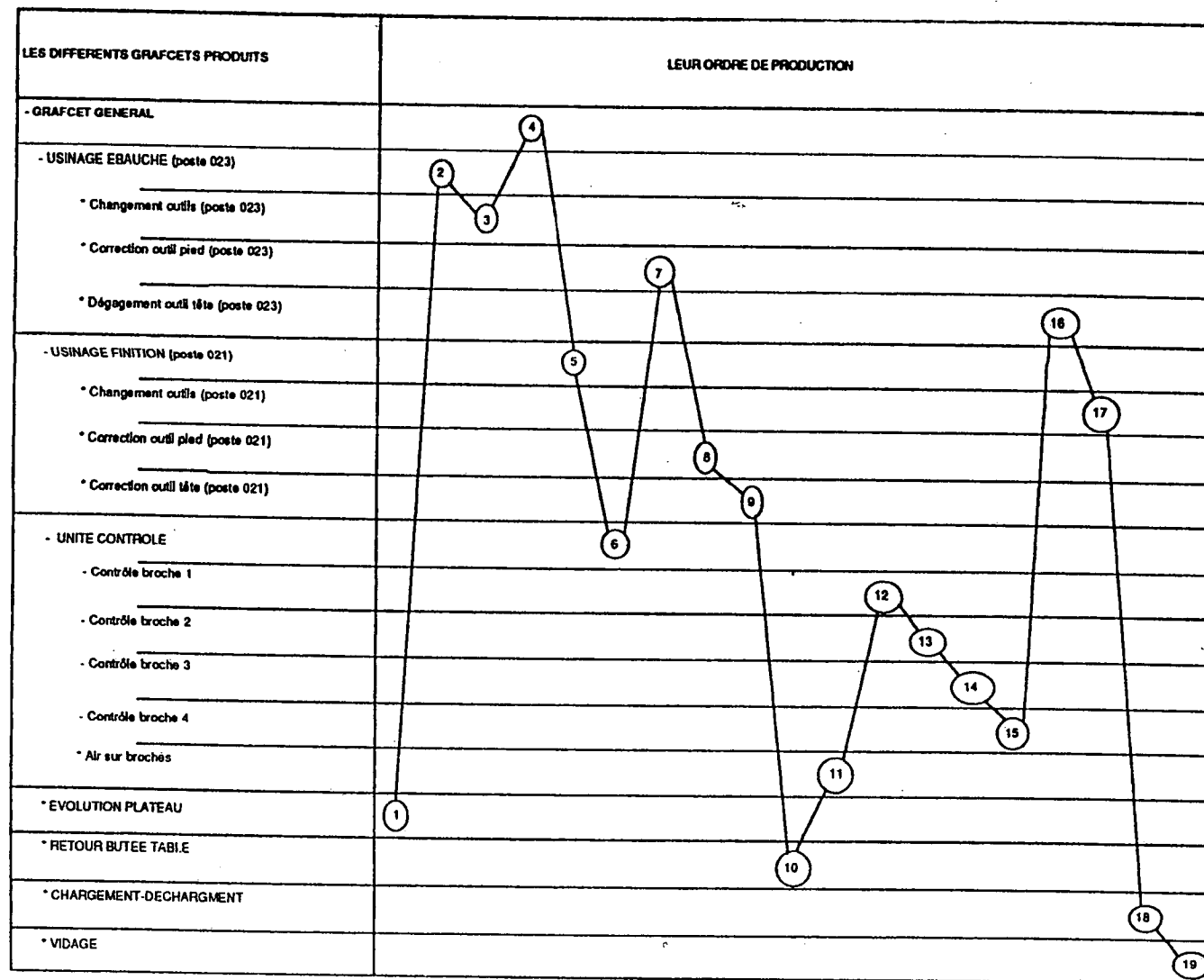


Tableau 1. Structure de buts et ordre de production des différents grafjets

1.2 Ordre de production des différents grafquets

La partie droite du tableau 1 présente l'ordre dans lequel les 19 grafquets ont été réalisés.

Ce tableau permet les remarques suivantes:

- L'activité de planification n'est pas avant tout régie par la structure de buts (et prérequis) décrite plus haut. En particulier, il ne s'agit pas d'une planification "top-down". Le grafquet général n'est produit qu'en quatrième position; et encore est-il utile de préciser ici que ce n'est que sur l'insistance de l'expert que le concepteur s'y décide. On peut penser qu'autrement il aurait attendu d'avoir décrit au moins les trois fonctions buts.
- C'est le niveau intermédiaire, celui des grandes fonctions qui est privilégié pour construire la représentation; à ce niveau la tendance générale du concepteur est de réaliser d'abord les fonctions buts avant de traiter les fonctions prérequis. Cependant le fait que la première traitée est l'évolution plateau (fonction prérequis) suivi des fonctions-buts, dans l'ordre "ébauche; finition; contrôle", montre clairement que l'ordre adopté est induit par l'ordre de déroulement d'un cycle normal de transformation d'une pièce brute.
- Enfin le niveau 3, celui des sous-buts et des prérequis spécifiques de grandes fonctions, est, dans l'ensemble, réalisé en dernier. Une exception est représentée par le grafquet "changements outils" qui est réalisé directement après le grafquet principal de la fonction qu'il conditionne: c'était peut-être l'esquisse d'une stratégie de type "profondeur d'abord".

Cependant, et si c'est le cas, elle a été abandonnée, au profit d'une stratégie "largeur d'abord", après que le concepteur ait construit le grafquet général; peut-être parce que la construction du grafquet général lui a permis une vue plus globale de l'ensemble à construire.

Donc, à une exception près, les grafkets des prérequis (ou des sous-buts) des fonctions qui en comportent sont construits après que l'ensemble des grafkets de ces fonctions ait été construit.

L'ordre dans lequel ils sont construits est intéressant à souligner. C'est un exemple de planification "opportuniste" (Hayes Roth et Hayes Roth, 1979). En effet le concepteur ne construit pas tous les grafkets des prérequis d'une fonction-but avant de passer à ceux d'une autre.

Ce qui guide le choix du grafket à faire est la similitude avec le grafket qui vient d'être fait, du point de vue de la fonction remplie.

L'exemple caractéristique est celui des 3 grafkets de correction d'outils appartenant à deux postes différents qui sont fait successivement.

Les quatre sous-buts de la fonction contrôle sont faits à la suite, mais on peut penser que c'est plus parce qu'ils sont très similaires du point de vue des opérations à décrire que parce qu'ils composent la même fonction. Concrètement d'ailleurs le concepteur utilise la photocopie pour reproduire les parties identiques des grafkets de ces fonctions similaires.

1.3 Evolution de la stratégie de construction d'un grafket

Après l'analyse de la stratégie d'ensemble de construction des 19 grafkets, nous analysons maintenant le plan adopté par le concepteur pour la construction d'un schéma grafket. Nous allons voir que ce plan a évolué au cours de la tâche, ce qui n'a rien d'étonnant dans la mesure où ce concepteur est débutant dans la technique de description grafket. Or il apprend ici "par l'action", c'est-à-dire d'emblée en réalisant une opération réelle, sans avoir eu de formation spéciale au préalable. Il est donc intéressant de voir comment sa stratégie de construction évolue.

Il n'est pas utile de présenter tous les grafkets pour mettre en évidence cette évolution. Nous avons retenu l'échantillon des grafkets qui constituent les points clés de cette évolution de la stratégie:

- le premier grafcet construit, évidemment ("évolution plateau"), car il s'agit là de la stratégie "spontanée" du concepteur;
- le second grafcet ("usinage ébauche") est une étape intermédiaire dans l'acquisition de la stratégie définitive;
- l'avant-dernier grafcet ("chargement-déchargement") (le dernier est obtenu par copie), met en évidence l'installation de la stratégie définitive.

Les figures 6, 7 et 8 montrent trois moments de l'évolution de la stratégie du concepteur, respectivement la première stratégie "spontanée"; une stratégie intermédiaire, et la stratégie définitive adoptée lors de la production de l'avant-dernier grafcet.

Ainsi on constate un passage (rapide) d'une stratégie "largeur d'abord" à une stratégie "profondeur d'abord":

- Au début le concepteur décrit chaque opération en trois temps: il inscrit d'abord le nom de toutes les opérations qui doivent composer la fonction représentée; puis pour chacune il indique son temps d'exécution; puis encore pour chacune ses conditions de fin.

La coordination temporelle entre les opérations du grafcet est traitée au fur et à mesure qu'une nouvelle opération est identifiée. La création d'une nouvelle étape et de la transition qui la suit, nous le montrent.

Les conditions initiales du cycle ne sont indiquées qu'en dernier lieu.

Les différentes feuilles qui accompagnent le grafcet sont remplies après la production de celui-ci.

- Dès le deuxième grafcet la stratégie consiste à inscrire chaque opération en indiquant d'emblée pour chacune son nom, son temps et ses conditions de fins. Mais le concepteur interrompt la production du grafcet après la description de la moitié des opérations du cycle, pour indiquer les conditions initiales du cycle.

La coordination temporelle des différentes opérations ainsi que la rédaction des feuilles qui accompagnent le grafcet sont traitées au même moment que dans la stratégie "spontanée".

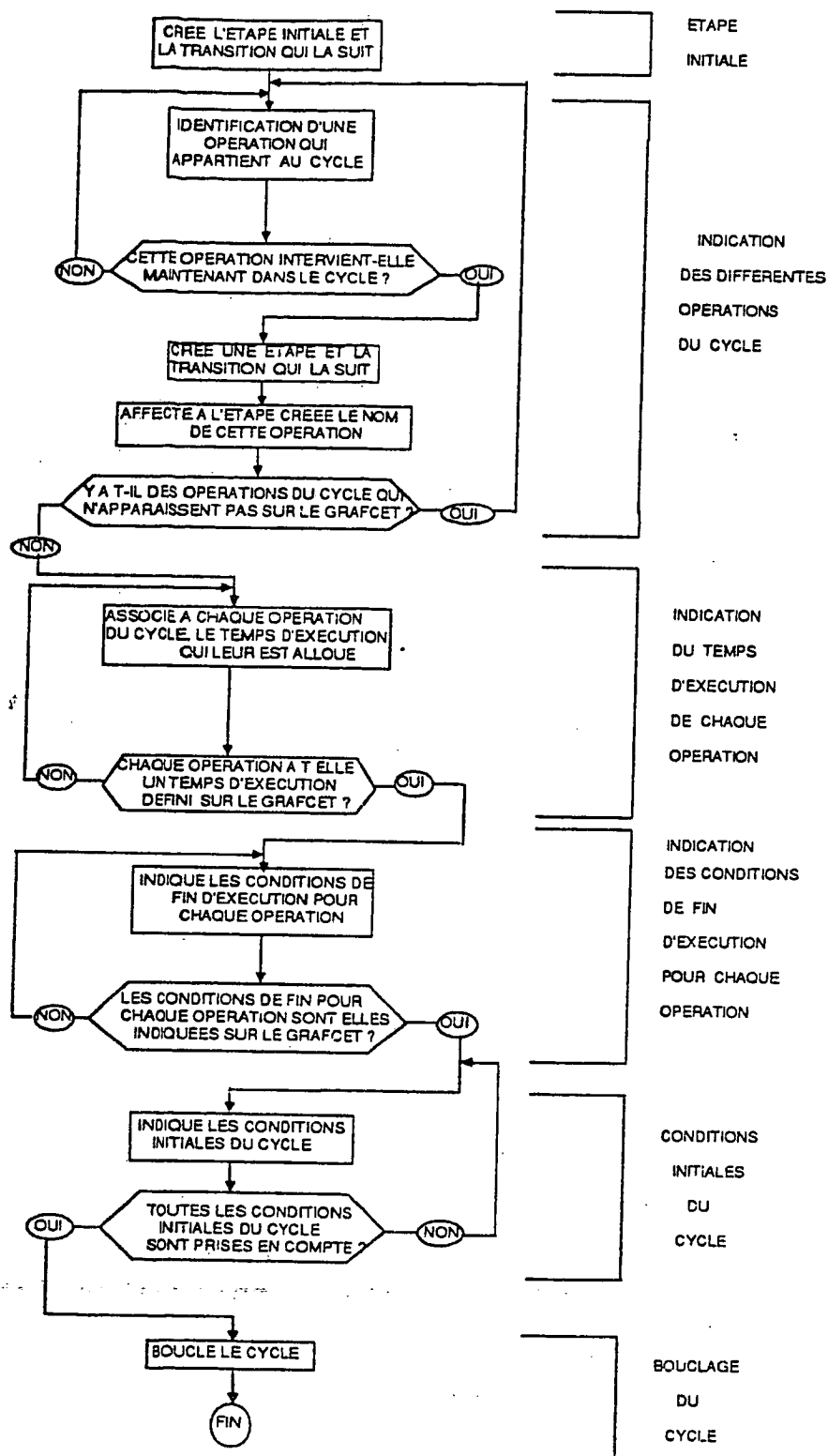


Figure 6. Stratégie de production du grafcet Evolution Plateau

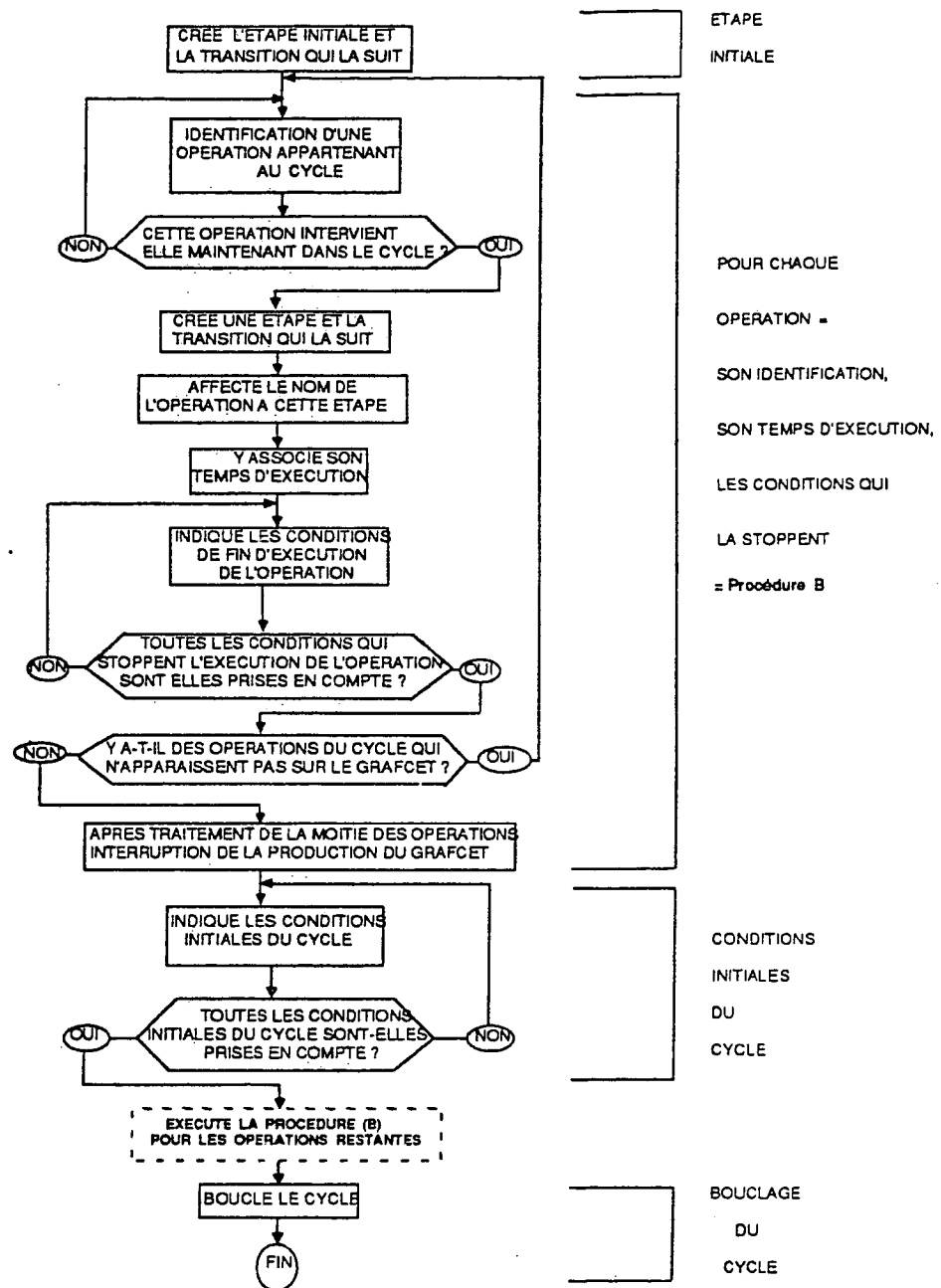


Figure 7. Stratégie de production du grafcet "usinage ébauche"

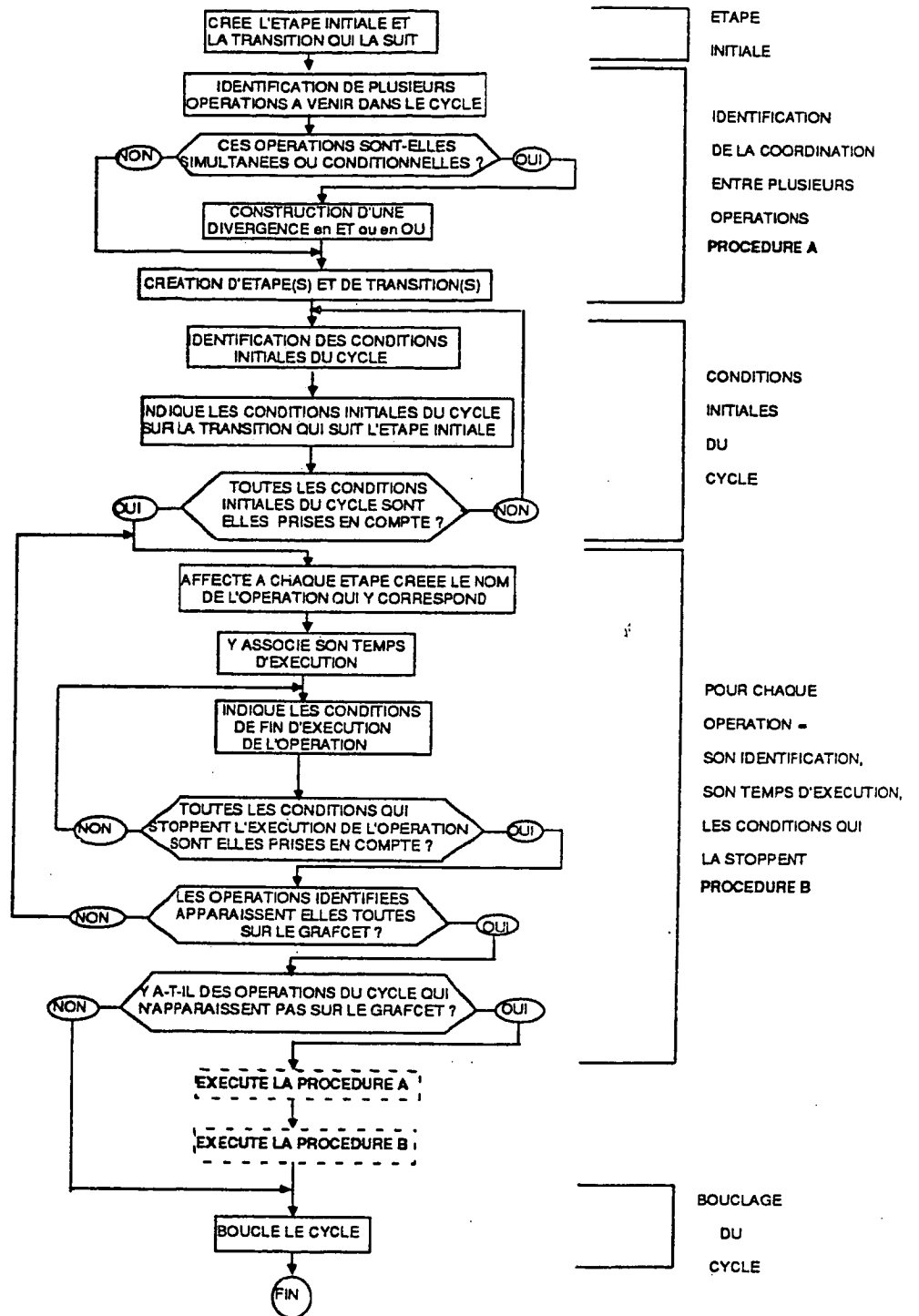


Figure 8. Stratégie de production du grafcet "chargement-déchargement"

Les conditions initiales du cycle ne sont abordées dès le début de la production du grafcet que lors de la production du sixième grafcet (unité du contrôle).

- La stratégie définitive est installée lors de la production de l'avant dernier grafcet. Elle a évolué au niveau du traitement de la coordination temporelle des différentes opérations. Le concepteur traite les opérations du cycle en deux temps:
 - * dans un premier temps il identifie s'il y a une simultanéité ou une boucle conditionnelle pour les opérations à venir, cela le conduit à traiter les opérations par "paquet";
 - * puis à l'intérieur de chaque paquet, le concepteur traite chaque opération de manière individuelle comme il le fait depuis le second grafcet produit.

Cela apparaît notamment dans le fait qu'après avoir mentionné l'étape initiale du cycle, le concepteur construit d'emblée le squelette du grafcet (les étapes et les transitions) pour les trois premières opérations, ce qui veut dire qu'il a déjà traité la coordination temporelle de ces opérations (simultanéité ici).

En outre après avoir traité de la coordination des trois premières opérations, il indique sur l'imprimé "origine du cycle" du grafcet, les conditions initiales. Sur le grafcet, à la place des conditions initiales, il mentionne un renvoi à l'imprimé.

Ainsi le concepteur a acquis une distinction entre le type de cycle décrit sur le grafcet qui met en évidence les relations temporelles entre les opérations du cycle, représentable par une structure grafcet vide, et le contenu de celui-ci (l'identification des opérations dans la structure). Notons cependant que cette distinction est acquise tardivement (avant-dernier grafcet).

D'autre part il prend en compte le fait que la production d'un grafcet implique la production de différents éléments liés à celui-ci et qu'il peut être économique de produire certains de ces éléments pendant la production du grafcet, au lieu de les recopier après (cela permet notamment d'éviter les répétitions inutiles entre le grafcet et les feuilles qui l'accompagnent).

2. Evolution des versions brouillons successives d'un grafcet

Les observations précédentes sur la stratégie de construction d'un grafcet concernent en fait la production d'une version de chaque grafcet.

Cependant pour bon nombre de ces grafcets le concepteur a produit plusieurs brouillons successifs avant d'obtenir la version définitive. C'est l'analyse des caractéristiques de ces brouillons et de leur évolution que nous présentons maintenant.

Analyse quantitative

La courbe de la figure 9 présente le nombre de versions produites par le concepteur pour chacun des grafcets en fonction de l'ordre de leur production.

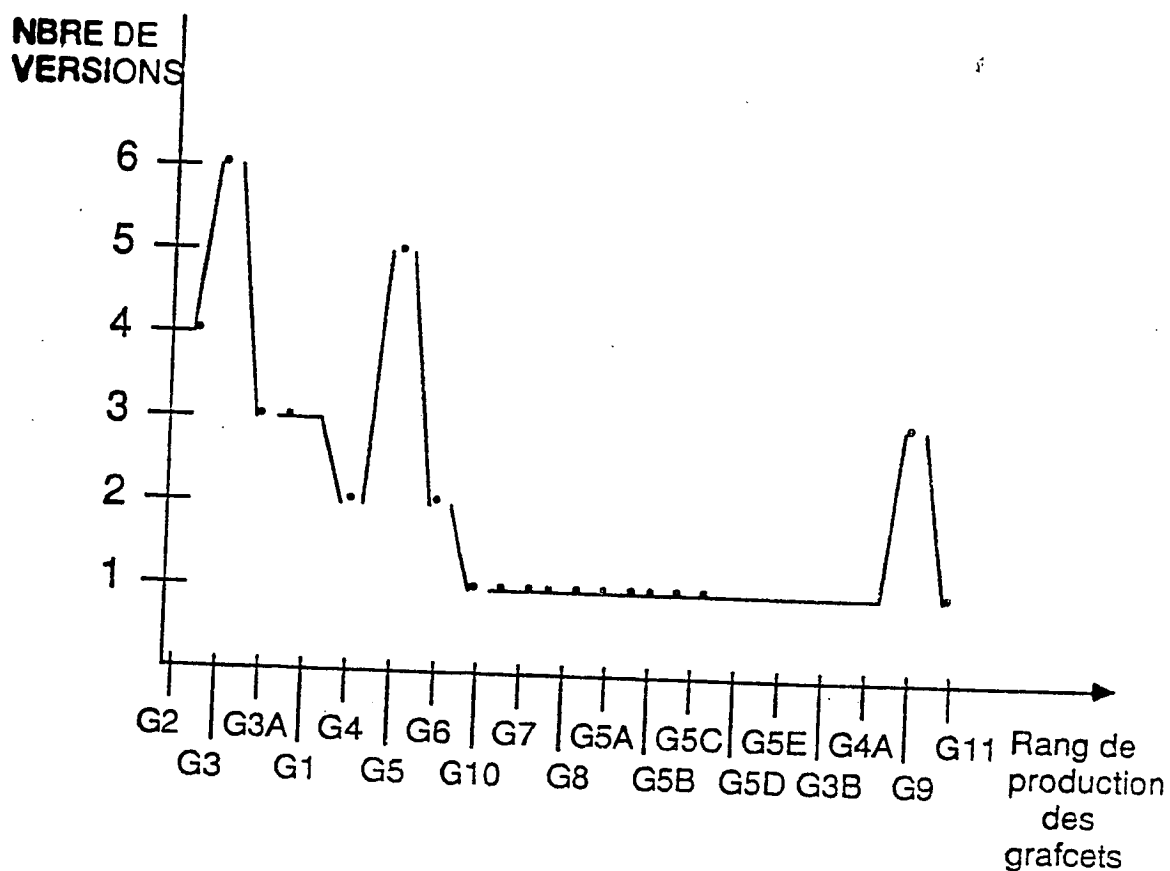


Figure 9. Nombre de versions produites pour chaque grafcet construit

Remarquons que les grafquets qui ont été produits en une seule version ont été obtenus par copie d'un grafquet précédemment construit.

Cette courbe montre un effet d'apprentissage:

- une baisse du nombre de versions à mesure que le concepteur produit des grafquets;
- cependant trois "pics" apparaissent qui correspondent chaque fois à l'apparition de problèmes nouveaux pour le concepteur.

Le premier pic qui concerne l'unité usinage ébauche, (cf. fig. 5 p. 12bis) est le premier grafquet dans lequel doivent être représentées des opérations simultanées qui suivent une boucle conditionnelle. La difficulté pour le concepteur concerne la coordination entre une boucle conditionnelle (si ... alors) et une simultanéité d'opérations (opération A ET B).

Le second pic concerne la production du grafquet de l'unité de contrôle (G5, cf. Annexe 2). Les aspects nouveaux rencontrés par le concepteur lors de la production de ce grafquet sont les suivants:

- pour des raisons de syntaxe grafquet, il est nécessaire de produire des grafquets dérivés qui prennent en compte les buts de l'unité. Le concepteur doit répartir ces buts sur plusieurs grafquets et distinguer ce qui apparaîtra sur le grafquet principal par rapport aux grafquets dérivés;
- c'est aussi l'unité pour laquelle le nombre de boucles conditionnelles est le plus important. En outre à l'inverse des grafquets construits jusqu'alors, ces boucles sont intégrées dans le cycle de fonctionnement de l'unité c'est-à-dire qu'il y a des alternatives dans le cycle et non pas seulement une alternative entre le cas où l'unité fonctionne et celui où elle ne fonctionne pas comme c'est le cas pour les grafquets produits jusque là;
- une autre différence concerne le fait que c'est le premier grafquet dans lequel est utilisée une itération dans le cycle;
- c'est aussi sur ce grafquet qu'apparaît pour la première fois l'utilisation d'une étape d'attente au milieu du cycle;
- enfin le concepteur est amené à produire une astuce pour qu'une opération qui ne peut être contrôlée par l'API puisse se faire (l'arrosage).

Pour le troisième pic, la difficulté du concepteur concerne la combinaison de la simultanéité de quatre ensembles d'opérations avec des boucles conditionnelles (cf. annexe 3).

La simultanéité, elle concerne d'une part un ensemble de quatre opérations, d'autre part trois ensembles d'une opération.

La difficulté des boucles conditionnelles apparaît lorsque dans le cycle de fonctionnement trois boucles sont utilisées. Deux de ces boucles débouchent sur une même issue alors que la troisième sert pour une itération dans le cycle.

Analyse qualitative

Les versions successives sont généralement construites en deux temps:

- en premier lieu (sur la première version à une exception près, le grafcet de l'unité de contrôle), le concepteur construit un grafcet qui reprend exactement les opérations qu'il avait représentées sur le schéma de séquences;
- en second lieu (sur les versions suivantes), il rajoute des informations qui soit ne sont pas sur le schéma de séquences, soit n'y figurent qu'en marge sous la forme de commentaires.

Un point intéressant concerne le passage de la première à la seconde version grafcet lors duquel on note le passage d'une description relativement laconique du fonctionnement optimal du procédé (celle qui figure le plus souvent sur le schéma de séquences) à la description détaillée d'un fonctionnement pour lequel la maintenance du procédé est prise en compte.

Il est intéressant de relever que la nature des informations qui sont rajoutées sur le grafcet concernent:

- soit des aspects prérequis par rapport au but du procédé (par exemple le graissage pour l'évolution du plateau);
- soit des opérations de maintenance de l'unité décrite sur le grafcet (par exemple l'appel à l'opérateur de maintenance).

En outre il faut noter que les problèmes liés au contenu du grafcet (indication des buts par rapport aux prérequis) sont résolus lors du passage de la première à la seconde version, alors que ceux qui concernent la structure du grafcet (est-il possible de décrire le fonctionnement d'une unité sur un seul grafcet ou faut-il faire appel à des sous-grafcets ?) ne sont pris en compte qu'à partir de la troisième version et souvent sur l'intervention de l'expert en grafcet.

Les versions nécessaires manifestent une description de plus en plus précise d'une version grafcet à l'autre. La précision de la description concerne ici ce qui apparaît sur le grafcet et non celle du grafcet par rapport à celle du schéma de séquences. Par exemple pour la fonction de "changement d'outils poste 023" l'évolution de la description est la suivante:

- première version: description de ce qui est fait; on a: "appel opérateur, changement d'outils";
- sur les versions suivantes on aura la description de la procédure de changement d'outils avec: "appel opérateur ==> ouverture porte, changement outil, fermeture porte, acquittement changement outils (bouton poussoir)".

L'évolution de la description du contrôle met en évidence la nécessité d'une categorisation des différentes fonctions pour décrire le fonctionnement d'une unité:

- dans un premier temps (première et seconde version), ne sont pris en compte que le contrôle et les alternatives selon le résultat du contrôle;
- dans un deuxième temps, le concepteur intercale entre ces deux types d'informations les procédures à appliquer en fonction du résultat;
- la solution finale consiste à séparer du grafcet principal le contrôle proprement dit et la mémorisation du résultat pour les décrire sur des sous-grafcets. Sur le grafcet principal seules les opérations qui se font en marge du contrôle apparaissent. Il s'agit des opérations d'avance de la table sur laquelle sont les pièces, de l'arrosage, du comptage du nombre de passage sur le poste de contrôle et de la suite du cycle de contrôle en fonction du résultat du contrôle. Le concepteur découvre cette solution (avec l'aide de l'expert) lorsque la création de grafcets dérivés s'avère nécessaire. En d'autres termes c'est lorsque le concepteur doit catégoriser

les différentes fonctions exécutées sur cette unité (à savoir quelles opérations mettre sur chaque grafcet dérivé) que la solution apparaît.

Des retours en arrière

Sauf exception, les différentes versions sont produites les unes à la suite des autres. Cependant plusieurs cas de retours en arrière ont pu être observés:

- Découverte d'un oubli par analogie. Le concepteur en train de porter une information sur le grafcet d'une unité découvre qu'une information du même type aurait dû être portée également sur le grafcet déjà construit d'une unité. Ainsi pendant la construction du grafcet de l'unité usinage finition alors qu'il mentionne l'information selon laquelle des pinces maintiennent la pièce en finition, il se souvient qu'il n'a pas mentionné cette même information pour la pièce en ébauche sur le grafcet usinage ébauche.
- Contraintes de description d'une opération avec le grafcet. Pour qu'une opération apparaisse sur le grafcet d'une unité, il faut que:
 - l'organe qui exécute cette opération appartienne à l'unité prise en compte sur le grafcet (contrainte commune avec le schéma de séquences);
 - le moment où intervient l'opération doit être inclus dans le temps de fonctionnement défini pour l'unité (contrainte supplémentaire).

Le problème que lui pose cette contrainte va être résolu en deux temps:

- d'abord le concepteur donne la priorité à la contrainte commune au grafcet et au schéma de séquences (l'organe qui exécute l'opération appartient à l'unité décrite);
- ensuite il revient sur un grafcet déjà construit pour tenir compte de la contrainte concernant le moment d'intervention de l'opération par rapport à la phase de travail de l'unité décrite sur le grafcet.

Cela le conduit à modifier certains grafcets déjà constitués pour isoler ce type d'opérations sur des grafcets particuliers et à indiquer sur le grafcet général

leur appel. Ceci explique le retour effectué par exemple sur le grafcet "usinage ébauche", pour les opérations de "correction outil pied" de cette unité, puis sur le grafcet général pour indiquer l'appel du grafcet comprenant ces opérations ("correction outil pied poste 023").

3. Analogies employées par le concepteur

Le concepteur pendant la production des différents grafcets a parfois recourt à l'analogie. Nous pouvons distinguer deux aspects différents sur lesquels l'analogie a porté: la structure du grafcet et le contenu du grafcet.

Nous avons pu observer à partir de quels éléments le concepteur décidait de recourir à l'analogie. Nous présentons ici quelques illustrations des analogies qui sont apparues lors de l'activité du concepteur.

3.1 Analogie de structure

Il s'agit du cas où le concepteur utilise un grafcet exemple pour résoudre des problèmes liés à l'écriture du grafcet qu'il est en train de produire. C'est la première utilisée par le concepteur, notons que jusqu'à présent il n'avait jamais produit de grafcet. Nous avons observé la mise en œuvre de cette analogie pour le premier grafcet produit par le concepteur, celui de l'évolution plateau:

- En premier lieu le concepteur avant de débiter ce grafcet, se reporte sur un dossier qui décrit, à l'aide d'un ensemble de grafcets (et d'un schéma d'animation), un procédé exemple. Le concepteur commence par explorer un grafcet de ce dossier, le grafcet général. Il découvre que celui-ci décrit la coordination entre les différents grafcets du dossier (c'est un grafcet général et non celui d'une unité). Alors il cherche un grafcet décrivant des opérations et l'analyse (sa structure, ses contraintes).
- Après avoir inscrit l'étape initiale du grafcet, le concepteur identifie, sur l'exemple, la spécificité des conditions initiales pour un grafcet (par exemple qu'il s'agit d'informations liées à l'état général du procédé), la différence avec les autres conditions du cycle (qui concernent surtout

l'unité), puis il revient sur le schéma de séquences de l'évolution plateau et commence la production du grafcet de cette unité.

Par ailleurs, le concepteur utilisera un grafcet exemple à chaque fois qu'il rencontrera une nouveauté quant à la structure d'un grafcet. Il en est ainsi pour la première boucle conditionnelle, la première simultanéité d'opérations. Il est intéressant de noter que le concepteur commence par identifier sur l'exemple s'il y a le cas de figure dont il a besoin. Ainsi s'il cherche à décrire une boucle conditionnelle, il se reporte sur l'exemple et cherche parmi les grafcets exemples celui sur lequel une boucle conditionnelle est décrite. Dans un second temps il se reporte sur la description du fonctionnement de l'unité exemple, il met en correspondance le fonctionnement de l'exemple et sa description à l'aide du grafcet, c'est-à-dire qu'il identifie la relation existant entre le fonctionnement de l'unité et sa description à l'aide du grafcet afin de faire de même pour le grafcet qu'il est en train de produire.

3.2 Analogie de contenu

Selon qu'il y a similarité ou identité de contenu entre le cycle de référence et le cycle cible, le processus de mise en correspondance entre le cycle de référence et le cycle cible diffère:

- pour la similarité entre les deux cycles, elle apparaît lors de la production du grafcet usinage finition pour lequel le concepteur a utilisé le grafcet de l'usinage ébauche comme source d'informations principale. La production du grafcet de l'usinage finition s'est effectuée de la manière suivante:
 - * identification du fonctionnement de l'usinage finition sur le schéma de séquences et sur le schéma d'animation;
 - * puis identification des relations entre cette unité et d'autres unités du procédé, (échanges d'informations par exemple);
 - * conclusion du concepteur: le fonctionnement de l'unité usinage finition est similaire à celui de l'unité usinage ébauche;
 - * à partir de cette conclusion le concepteur débute la construction du grafcet de l'usinage finition en prenant appui sur celui de l'usinage ébauche. Cependant le concepteur continue à consulter aussi bien le schéma de séquences que le schéma d'animation qui correspondent à

l'unité d'usinage finition, pour tenir compte des différences qui existent entre les deux types d'usinage. Par exemple pour l'usinage ébauche il y a deux types d'avance lente de la table, pour l'usinage finition il y en a un.

Le déclenchement de cette analogie se fait à partir de la connaissance que le concepteur a du procédé. Ayant connaissance des buts de ces deux unités (les pièces sont usinées aux mêmes endroits (tête et pied)), il va identifier les procédures mises en œuvre pour qu'ils soient atteints. La découverte de la similarité entre celles-ci le conduit à produire le grafcet de l'usinage finition en s'appuyant sur celui de l'ébauche. Cependant le concepteur ne considère pas qu'il y a identité entre les procédures de ces deux unités, aussi consulte-t-il, lorsqu'il a un doute sur celles-ci, d'autres descriptions de l'unité de finition.

Un aspect intéressant est le fait que le concepteur découvre des "erreurs" et des oublis sur le grafcet ébauche pendant la construction de celui de la finition. Ainsi un effet de feed-back apparaît avec l'analogie. Par exemple pour identifier les conditions initiales de l'unité de finition, il explore le schéma d'animation, il découvre que certaines conditions du même type sont absentes du grafcet de l'ébauche, et les rajoute.

- Pour l'identité entre (parties de) cycles, un exemple est le grafcet du vidage qui est produit par le concepteur en se basant sur le grafcet de l'unité de chargement-déchargement. Différentes étapes apparaissent:
 - * identification des opérations communes entre le cycle de référence (chargement-déchargement) et le cycle cible (vidage). Il identifie ainsi trois parties du cycle;
 - * puis simulation mentale du fonctionnement du vidage pour les trois parties du cycle de chargement-déchargement; cela conduit le concepteur à éliminer de son premier choix un certain nombre d'opérations qui ne doivent pas figurer dans le cycle cible;
 - * identification d'opérations communes mais dont la procédure d'exécution est différente de celle du cycle de référence;
 - * identification des opérations spécifiques au cycle cible.

Nous avons observé aussi des cas où le cycle de référence et le cycle cible étaient strictement identiques et le concepteur en a connaissance. Il s'agit des grafjets décrivant le contrôle de chaque partie de pièces (grafjets contrôle broches 1 à 4). La seule différence concerne l'outil utilisé (le numéro de l'outil change sur le grafjet). Aussi lorsqu'il commence la production du premier grafjet de ce type, il n'indique pas l'outil qui exécute le contrôle de la première partie afin de pouvoir photocopier ce premier cycle pour produire le cycle de chaque partie de pièce contrôlée.

Il est intéressant de noter l'application de la mise en correspondance entre le cycle de référence et le cycle cible. En effet on note que pour l'analogie entre cycles similaires, elle est faite "point par point" entre les procédures des deux cycles. Dans le cas de cycles comportant des parties identiques, la mise en correspondance concerne surtout l'articulation entre parties identiques (ainsi pour le vidage, il est nécessaire de compter le nombre de déchargement. Cela implique le rajout des opérations de comptage et de mémorisation du comptage entre deux déchargements, ce qui n'est pas nécessaire pour l'unité de chargement-déchargement).

4. Du schéma de séquences au grafjet: changements de représentation

L'analyse de l'activité du concepteur lors du passage du schéma de séquences au grafjet nous a permis de comparer ces deux outils de description (cf. Annexe 4). Dans la partie qui suit nous présentons les résultats obtenus relatifs aux changements de représentation que le concepteur doit faire quant à la description du procédé, lorsqu'il passe du schéma de séquences au grafjet.

Un premier changement qui nous semble important concerne la représentation du temps de fonctionnement. Sur le schéma de séquences, le temps total de fonctionnement du procédé apparaît au niveau de chaque unité. Sur le grafjet, les temps qui y apparaissent ne concernent que la phase de travail de l'unité décrite. Aussi sur le schéma de séquences toutes les opérations qui sont exécutées sur l'unité sont décrites, même celles (les corrections d'outils par exemple) qui interviennent en dehors de la phase de travail de l'unité. Sur le grafjet pour les opérations de ce type, il est nécessaire d'utiliser des grafjets particuliers qui seront pris en compte au niveau du grafjet général. Ainsi le

concepteur doit-il considérer les sous-grafcets qui sont pris en compte (dans la description) au même niveau que leur grafcet principal respectif (c'est-à-dire sur le grafcet général) pour ces raisons de représentation du temps sur le grafcet.

Cela conduit à un changement au niveau du découpage du procédé par le concepteur. En effet avec le schéma de séquences, comme la division se situe entre les différentes macro-fonctions du procédé, le concepteur représente le fonctionnement du procédé en deux niveaux (le cycle général, les cycles des différentes unités). Sur le grafcet du fait que la division se situe en plus entre les fonctions d'une unité, un troisième niveau apparaît: celui des grafcets dérivés.

La représentation initiale du concepteur (celle qui est induite par l'utilisation du schéma de séquences) est quasi linéaire, la notion de boucle ne peut être prise en compte directement sur le schéma, celle de cycle est implicite. Le fonctionnement du procédé est considéré comme un ensemble d'unités fonctionnelles autonomes définies par la succession des opérations qui y sont exécutées. Cette autonomie est induite aussi par le fait que l'axe du temps de fonctionnement du procédé dans sa totalité est présent sur chaque description et la préoccupation majeure du concepteur sera que l'unité exécute sa tâche dans le temps qui lui est alloué.

En revanche avec le grafcet la représentation mise en œuvre explícite la notion de cycle (par le biais du bouclage) et celle de boucle (par la structure du grafcet qui est variable selon la boucle utilisée).

Le troisième changement que le concepteur doit opérer quant à la représentation du procédé, concerne le niveau de profondeur (de détail) de la description. Sur le schéma de séquences d'une part il est possible de trouver la coexistence d'informations macroscopiques (fonctions) et microscopiques (opérations) pour la description d'une unité, d'autre part des opérations liées à la maintenance et/ou au dépannage du procédé sont souvent absentes de la description du procédé. Le grafcet exige une description plus détaillée dans la mesure où le concepteur se situe au niveau des opérations et la maintenance et le dépannage sont pris en compte.

Cependant il arrive que certains changements de représentation soit ne sont pas appliqués par le concepteur, soit qu'il rencontre des difficultés pour le faire.

L'importance de la notion de "cycle normal" pour le concepteur apparaît au travers du fait que c'est ce cycle qui semble être le seul à devoir figurer sur la description du fonctionnement d'une unité si l'on se réfère et à ses dires et au schéma de séquences qu'il a réalisé au préalable. Normalement (pour ce concepteur en tout cas) les opérations qui concernent la maintenance ou le dépannage n'ont pas à figurer sur le schéma de séquences ou n'y sont prises en compte que sous la forme de commentaires en marge. On note que c'est après plusieurs versions d'un même grafcet que le concepteur y mentionne ce type d'opérations.

En outre le concepteur se fixe une première contrainte supplémentaire pour produire le grafcet; il s'agit de l'absence du cycle de vidage alors qu'il apparaît sur le schéma de séquences. En fait ce cycle devrait figurer sur le grafcet général dans la mesure où ce dernier décrit l'intervention des différents cycles particuliers du procédé et le vidage en constitue un. Selon lui: "un grafcet général ... définit le cycle normal de la machine; le vidage n'est pas un cycle normal, c'est lorsque l'on veut faire un autre type de pièces."

Une seconde contrainte concerne les opérations de maintenance ou dépannage d'une unité dans son ensemble. Elles sont prises en compte en observations. Ces opérations ne sont pas décrites sur le schéma de séquences. Lors de l'entretien avec le concepteur celui-ci argue du fait qu'il s'agit du cas où c'est l'unité dans son ensemble qui ne peut fonctionner, et donc ce cas est pris en compte avant que le cycle de l'unité ne démarre. Cela entraîne, selon le concepteur, qu'il n'est pas possible d'indiquer cet arrêt machine sur le grafcet. Cependant ces opérations peuvent figurer sur le grafcet, par l'introduction d'une boucle conditionnelle au niveau de la première transition du grafcet de sorte que si les conditions de départ du cycle ne sont pas remplies, l'arrêt machine est déclenché.

Pour le concepteur, deux types de difficulté sont liés aux changements de représentation du procédé.

La première concerne la distinction des relations hiérarchiques qui peuvent exister entre différents grafjets (liées à l'écriture du grafjet) de celles qui concernent les fonctions du procédé.

Par exemple: Pour les corrections outils, le concepteur s'aperçoit qu'il ne peut les mentionner sur le grafjet de l'unité sur laquelle sont les outils concernés parce que ces opérations ne peuvent être effectuées pendant la phase de travail de l'unité. Il va dans un premier temps les transférer sur une autre unité du cycle, avant de les prendre en compte sur des grafjets particuliers et de mentionner leur appel sur le grafjet général.

Le second type de difficulté concerne la création de sous-grafjets. Cela apparaît dans le fait que les premiers grafjets dépendants produits (qui concernent tous la maintenance de l'unité) le sont sur les recommandations de l'expert. En outre lorsqu'il s'agira de produire des grafjets dérivés (il décrivent le fonctionnement de l'unité), le concepteur fera d'abord plusieurs tentatives pour éviter leur production, en intégrant les opérations qu'ils décrivent dans le grafjet principal, et il faudra l'insistance de l'expert pour que le concepteur envisage cette possibilité (on le voit pour l'unité de contrôle).

III - CONCLUSION

L'étude que nous avons menée peut être considérée comme l'illustration d'un apprentissage par l'action dans la mesure où le concepteur de la description fonctionnelle du procédé (grafcet) n'a pas reçu une formation préalable à la production de celle-ci. Deux aspects de l'activité de production de grafkets nous ont particulièrement intéressés: la planification, le passage d'un outil jusque là utilisé par le concepteur (le schéma de séquences) au nouvel outil (le grafcet).

L'activité du concepteur met en évidence des aspects importants de la planification:

- 1 - Pour décrire l'ensemble du procédé le concepteur manifeste ici le mélange des deux stratégies "d'explicitation d'actions" mis en lumière par Richard (1986):
 - * d'une part une stratégie qui consiste à décrire d'abord les fonctions puis les prérequis de ces fonctions; nous avons déjà mis en évidence une telle stratégie dans une tâche de programmation (Morais et Visser, 1985);
 - * et d'autre part une stratégie qui consiste à suivre l'ordre temporel de réalisation des fonctions.
- 2 - Un autre aspect est le caractère "opportuniste" de la planification.

L'analyse du contenu de la description d'un procédé à l'aide du grafcet semble conduire à une description plus détaillée et plus complète, du moins dans le cas du concepteur que nous avons observé, que celle qui figure sur le schéma de séquences. En outre le passage d'un outil de description à l'autre conduit le concepteur à opérer des changements de représentation du fonctionnement à décrire.

IV - BIBLIOGRAPHIE

Hayes Roth, B., Hayes Roth, F. (1979) - A cognitive model of planning.
Cognitive science 3, pp. 275-310.

Morais, A., Visser, W. (1985) - Etude exploratoire de la programmation
d'automates industriels chez des élèves de l'enseignement technique.
Rapport de recherche n° 404. Rocquencourt: INRIA.

Richard, J. F. The semantics of action (1986) - Its processing as a function of
the tasks. Rapport de recherche N° 542. Rocquencourt: INRIA.

Visser, W. (1986) - Activité de conception d'une installation automatisée. 1. La
construction du schéma de fonctionnement, Rapport interne.

Annexe 1. Informations utilisées

L'objectif de l'analyse des prises d'informations du concepteur est de mettre en évidence que les informations nécessaires à l'opérateur pour produire les grafjets sont diverses, et de montrer que le passage du schéma de séquences au grafjet ne met pas en jeu seulement une activité de transcodage d'éléments d'informations d'un formalisme à un autre. Les tableaux ci-dessus nous montrent qu'il est possible de répartir dans trois groupes les principales sources d'informations que l'opérateur utilise :

a) Celles qui concernent le fonctionnement du procédé c'est-à-dire le contenu du grafjet :

- le schéma de séquences qui est la source d'informations la plus utilisée et le plus régulièrement. Ceci s'explique par le fait que cet outil est ce qui doit être "traduit" sur le grafjet.
- le schéma d'animation qui est la seconde source d'informations quantitativement. Le rôle de ce type de schéma est de servir à lever un doute de l'opérateur sur le fonctionnement d'une unité (ou partie de), relever différents capteurs qui n'apparaissent pas sur le schéma de séquences, notamment ceux dont l'information est utilisée pour les conditions de départ du cycle d'une unité. Le troisième rôle de ce schéma est d'informer sur le fonctionnement d'un élément (par exemple si un moteur est ou non à double sens de marche, ce qui a pour conséquence d'utiliser une ou deux opérations selon que l'on veut commander le moteur dans l'un ou l'autre des sens de marche). Il permet éventuellement de simuler mentalement le fonctionnement d'une partie ou de la totalité de l'unité en disposant de tous les éléments physiques qui composent celle-ci et qui n'apparaissent pas sur le schéma de séquences.

Le concepteur pouvait aussi faire appel à des personnes travaillant sur d'autres aspects du même procédé pour obtenir des explications sur des points précis.

b) Celles qui concernent l'écriture du grafcet:

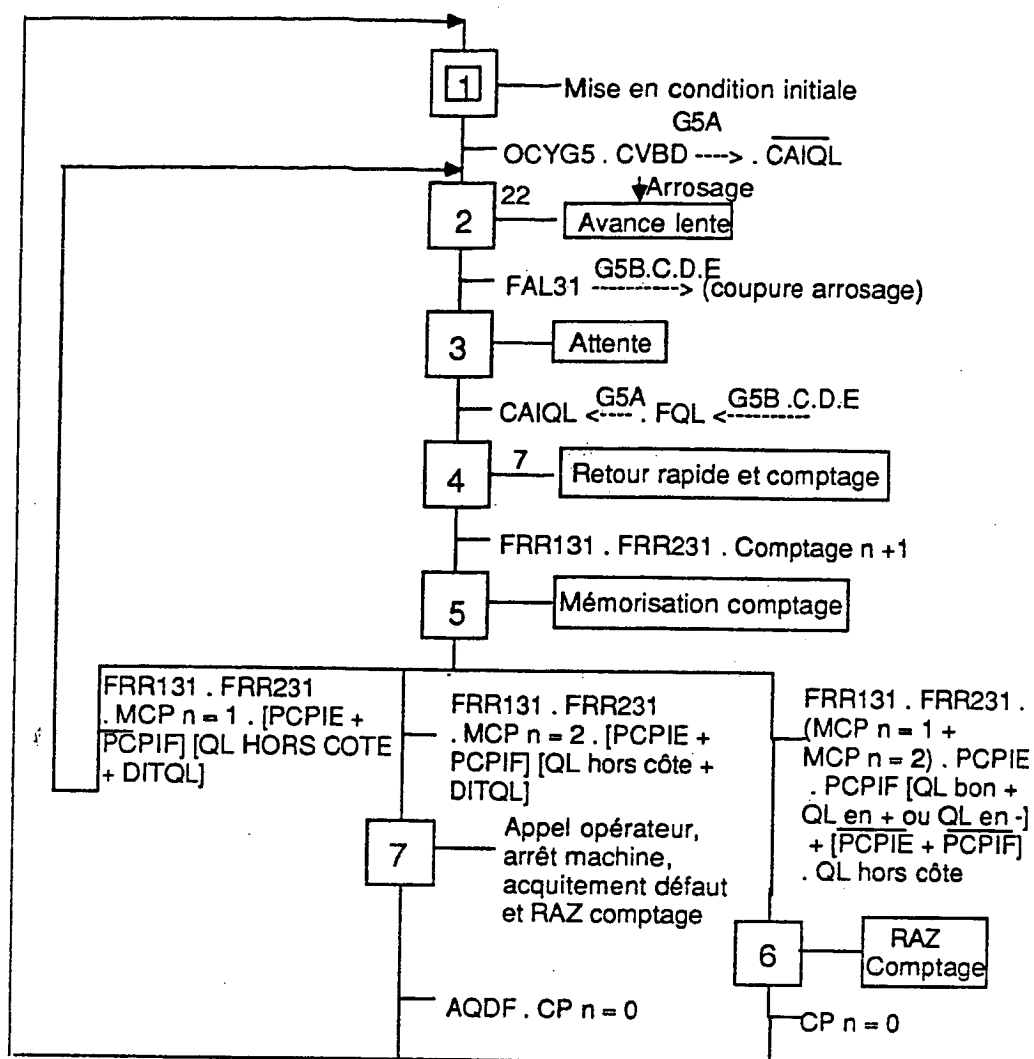
- l'utilisation d'un grafcet exemple pour construire les premiers grafkets de sa description du procédé. Quantitativement c'est la troisième source d'informations.
- l'appel à l'expert en grafcet pour des difficultés liées à l'écriture du grafcet.

c) Le dernier groupe de sources concerne l'utilisation de grafkets précédemment produits. L'utilisation de ces grafkets se fait par le mécanisme de l'analogie que nous avons décrit. Pour l'opérateur l'utilisation de ces grafkets est plus économique, puisqu'il s'agit pour lui de résoudre une difficulté déjà rencontrée ou parce que le grafcet en cours d'élaboration était très proche.

	schéma de séquences de l'unité	schéma d'ani- mation de l'unité	feuilles des capteurs de l'unité	physique du procédé	spécialiste d'un aspect sur le procédé	grafcet exemple	schéma d'ani- mation de l'exemple	personne ayant déjà utilisé le grafcet	grafcets déjà existant	photo- copies de grafcets	document de coordination Mécanicien Automaticien	dictionnaire des mnémoniques	cahiers des charges	plan d'une autre unité
G2	19	8	9	1	1	8	-	1	-	-	1	-	-	1
G3	41	1	-	3	2	16	2	4	2 (G2)	-	1	4	1	1
G3A	1	2	-	-	5	8	1	-	4 (G3)	-	-	2	3	-
G4	38	14	4	-	1	-	-	1	4 (G3)	-	-	1	-	-
G5	21	12	-	-	2	3	-	5	2 (G3)	-	-	1	-	-
G5A	1	-	-	-	-	2	-	4	10(G1 à 5)	-	-	-	-	-
G5B	-	2	-	-	-	-	-	2	12 (G5)	-	-	6	-	-
G5C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	de G5B	-	-	-	-
G5D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	de G5B	-	-	-	-
G5E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	de G5B	-	-	-	-
G4A	-	-	-	-	1	-	-	-	2 (G3A)	-	-	-	-	-
G3B	-	-	-	-	-	-	-	-	10 (G3)	-	-	-	-	-
G9	79	22	-	1	-	-	-	-	3 (G5)	-	-	1	1	-
G11	6	-	-	1	-	-	-	-	9 (G 5 et 9)	de G9	-	-	-	-

Annexe 1. Résultats détaillés du nombre de prises d'informations de l'opérateur pour produire chacun des grafcets

NB. Les nombres qui figurent sur le tableau représentent le nombre de prises d'informations sur une source.



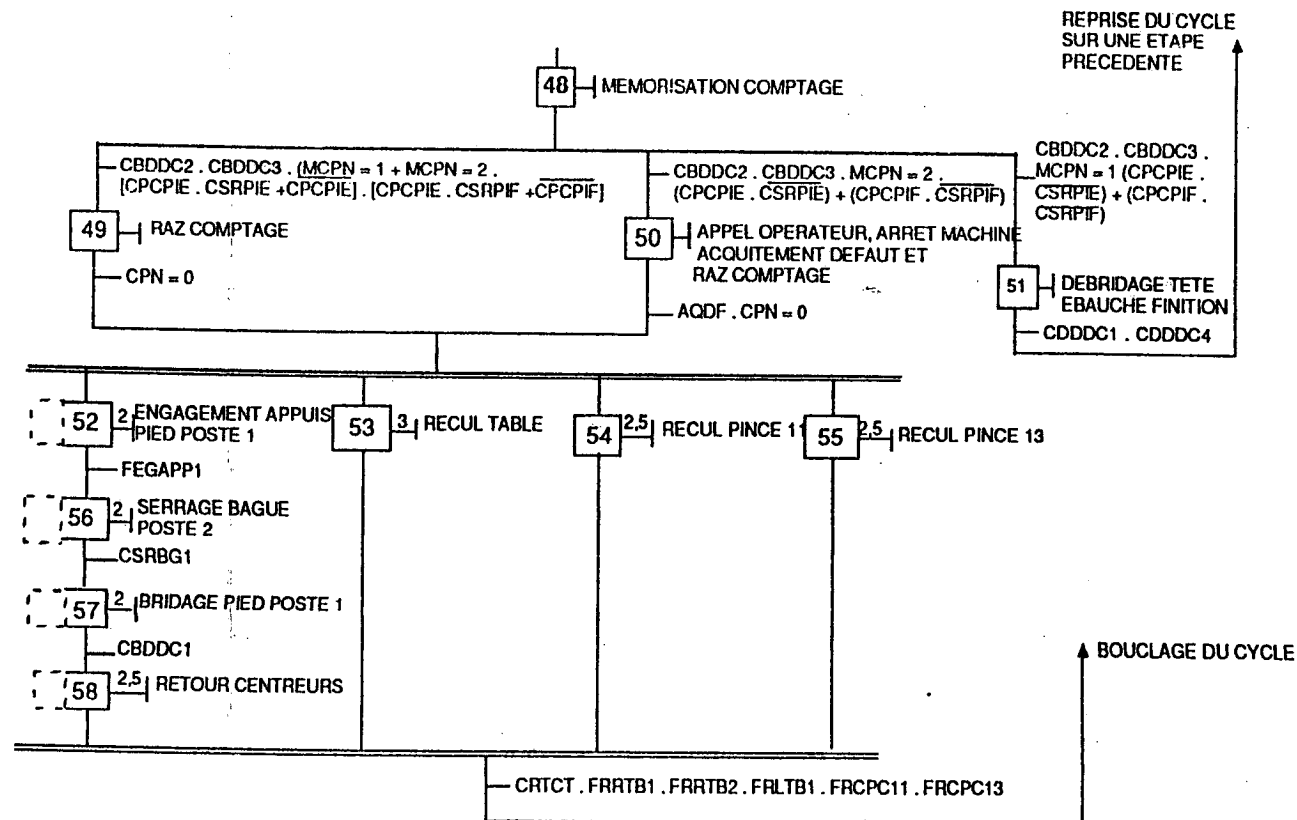
NOTA : FQL = fin de contrôle des 4 broches

QL et DITQL sont des informations venant des broches 1, 2, 3, 4 à la fin du contrôle nous aurons donc une information par broche.

DITQL= défaut introduction contrôle

Annexe 2. Grafcet de l'unité de contrôle

□ : Etape pouvant être conduite en manuel



Annexe 3. La combinaison d'étapes simultanées après une boucle conditionnelle sur le grafcet de chargement-déchargement

[] = Opération qui peut être conduite en manuel

Annexe 4. Différences entre le grafcet et le schéma de séquences

Nous présentons ici à partir d'une comparaison au niveau du contenu du grafcet et du schéma de séquences, les caractéristiques de ces deux outils.

1. Comparaison

L'utilisation du grafcet conduit à un découpage différent de la description du procédé. En effet sur le schéma de séquences chaque unité du cycle est décrite sur un seul schéma alors que sur le grafcet il y a le plus souvent partition de la description de chaque unité (par exemple l'usinage ébauche qui est décrite sur trois grafcets différents alors qu'elle est décrite sur un seul schéma).

La seconde différence entre les deux descriptions concerne le niveau de détail de celles-ci qui semble plus grand sur le grafcet que sur le schéma de séquences:

- tout d'abord le cycle général décrit avec le grafcet prend en compte des fonctions qui n'apparaissent pas sur celui du schéma de séquences. Ces fonctions concernent la maintenance du procédé;
- en outre, des fonctions sont rajoutées sur les grafcets d'unité qui n'apparaissent sur le schéma de séquences que dans la colonne observations ou sous la forme de commentaires. Il s'agit surtout des fonctions liées au dépannage ou à la maintenance du procédé. Sur le grafcet elles sont considérées comme un cas possible de (non) fonctionnement de l'unité considérée;
- une même fonction ou opération peut être plus détaillée. Par exemple, pour la fonction contrôle l'opération "mesure côte ébauche tête" est décrite, sur le schéma de séquences, comme une opération unique. Sur le grafcet elle est détaillée en six opérations;
- dans la plupart des cas, le nombre de conditions permettant le passage d'une opération à la suivante est plus grand sur le grafcet. Ces

informations supplémentaires concernent bien souvent la sécurité de l'unité décrite.

La troisième différence concerne l'emplacement des informations sur l'un ou l'autre des outils comparés. Ce qui sur le schéma de séquences apparaît souvent dans une colonne "observations" sous la forme verbale et de manière non détaillée, est pris en compte directement sur le grafcet. Un exemple est le cas où lorsqu'une condition de départ du cycle n'est pas remplie, il faut arrêter la machine et faire appel à un opérateur qui dépannera le procédé.

2. Caractéristiques du grafcet et du schéma de séquences.

La comparaison entre les différentes descriptions qui se trouvent sur le schéma de séquences et sur le grafcet nous permet de mettre en évidence les caractéristiques de ces deux outils qui apparaissent déjà à travers l'analyse des différentes versions nécessaires au concepteur pour produire chaque grafcet.

Pour le schéma de séquences on note que:

- le procédé décrit est partitionné en fonction des unités qui le composent, comme le procédé étudié par le concepteur doit remplir cinq macro-fonctions, le schéma de séquences sera constitué de six parties puisqu'il y a une description du cycle général en plus de celle des unités du procédé;
- la coordination temporelle des différentes opérations d'une fonction n'est prise en compte que par la succession des traits définissant le moment où intervient l'opération et sa durée;
- il n'est pas possible de faire apparaître de manière explicite autrement qu'en marge du schéma le cas où une alternative se présente dans le cycle de fonctionnement d'une unité. De même qu'il semble difficile d'y représenter autrement qu'en extension une itération c'est-à-dire en répétant les opérations autant de fois qu'elles sont reproduites dans le cycle;

- les opérations permanentes (elles durent pendant tout le fonctionnement du procédé) sont décrites au niveau du schéma de séquences de chaque unité;
- sur la description de chaque unité, le temps total de fonctionnement du procédé apparaît.

En ce qui concerne le grafcet, c'est différent :

- le procédé est certes divisé en unités fonctionnelles mais chaque unité peut si cela est nécessaire (pour des raisons d'écriture du grafcet ou à cause du temps de fonctionnement) être divisée en fonctions c'est-à-dire un ensemble d'opérations qui contribuent au même aspect du fonctionnement d'une unité. Ainsi la description effectuée à l'aide du grafcet est constituée de dix-neuf parties. Sur le grafcet dans la description d'une unité fonctionnelle, c'est le temps d'exécution du cycle de cette unité qui est indiqué. Aussi les différentes opérations (de maintenance notamment) exécutées sur celle-ci mais qui le sont en dehors du temps de travail de l'unité, apparaissent sur des grafkets dépendants;
- l'explicitation de la coordination temporelle entre les différentes opérations d'une même fonction est redondante sur le grafcet. En effet lorsque des opérations se succèdent, cela apparaît d'une part à travers l'ordre dans lequel elles figurent sur le grafcet, d'autre part à l'aide du numéro de l'étape à laquelle chaque opération est associée. Selon que les opérations sont exécutées séquentiellement, simultanément, ou si une (des) boucle (s) apparaît dans le cycle de l'unité, la forme du grafcet change;
- sur le grafcet il semble peu facile de représenter des opérations permanentes dans la mesure où la description de celui-ci est divisée en différentes parties sur lesquelles le temps décrit ne concerne que le temps de fonctionnement de l'unité. De même que pour des raisons identiques il est difficile de décrire sur le grafcet les cas d'arrêt machine lorsque l'information provient des contrôles généraux (ceux qui concernent le procédé dans sa totalité).

- sur chaque description d'unité, le temps total de fonctionnement du procédé n'apparaît pas.

L'utilisation du grafcet par rapport au schéma de séquences pour la description du fonctionnement d'un procédé présente deux avantages: en premier lieu, la description du procédé est plus complète sur le grafcet (le fonctionnement et les cas de dysfonctionnements du procédé sont explicités, le nombre d'informations est supérieur).

En outre l'analyse du fonctionnement est plus détaillée et précise (la description se situe au niveau des opérations).

Cependant le grafcet présente un inconvénient important qui concerne la représentation de la durée de fonctionnement d'une unité et par ce biais la coordination entre les différentes parties du procédé. En effet la situation temporelle du fonctionnement d'une unité par rapport aux autres et, à l'intérieur, ses parties entre elles n'est pas directement accessible sur sa description. Aussi est-il nécessaire d'explicitier les relations qui peuvent exister entre deux unités différentes et/ou pour une même unité entre ses différentes parties.

Imprimé en France

par

l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique

